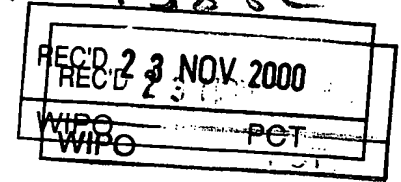


BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

EP 0019882



EU

# Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 199 48 897.5

**Anmeldetag:** 11. Oktober 1999

**Anmelder/Inhaber:** Vacuumschmelze GmbH,  
Hanau/DE

**Bezeichnung:** Schnittstellenmodule für lokale  
Datennetzwerke

**IPC:** H 01 F 1/153

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 26. Oktober 2000  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Werner

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Schnittstellenmodule für lokale Datennetzwerke

- 5 Die Erfindung betrifft ein Schnittstellenmodul für lokale Datennetzwerke mit wenigstens einem induktiven Bauelement zur Koppelung von Schnittstellenschaltungen an eine der Verbindung von Rechnern dienende Datenleitung.
- 10 Derartige Module werden auch als LAN-Module bezeichnet. In LAN-Schnittstellenmodulen wurden bisher Ringkerne aus hochpermeablem Ferritmaterial (typisch  $\mu=5000$ ) für Übertrager und Drosseln eingesetzt. Um die erforderliche Hauptinduktivität auch mit  $I_{DC} = 8\text{mA}$  zu erreichen, muß bei Ferriten die
- 15 Windungszahl hoch ausgelegt werden, typischerweise 20 bis 40 Windungen bei 100 MBit/s-Ethernet-Übertragern. Die hohe Windungszahl führt zu einem zu fertigungstechnischen Nachteilen, z.B. bei der Ausführung der Übertrager in Planartechnik. Außerdem beanspruchen LAN-Schnittstellenmodule mit Ferritkernen viel Platz.
- 20

Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, Schnittstellenmodule mit wenigstens einem induktiven Bauelement zu schaffen, die sich für den Einsatz in lokalen Datennetzwerken eignen und ein kleines Bauvolumen aufweisen.

5

- Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß jedes induktive Bauelement einen Magnetkern aus einer amorphen oder nanokristallinen Legierung aufweist.
- 30

- Typischerweise reicht der Hauptfrequenzbereich von lokalen Datennetzwerken bis 10 MHz (10Mbit/s Ethernet) bzw. bis 125 MHz (100 Mbit/s Ethernet) oder im Fall von Gigabit-Ethernet
- 35 sogar noch höher. Wie oben erwähnt, sind bei Verwendung von Ferritkernen zum Erreichen der erforderlichen Induktivität bei

Idc bis 8mA hohe Windungszahlen nötig. Diese führen zu hohen Koppel- und Wicklungskapazitäten sowie zu einer großen Streuinduktivität. Diese Einflüsse wirken sich nachteilig auf die Impulsform aus, und zwar durch Überschwinger sowie große Anstiegs- und Abfallzeiten.

Es besteht zwar die Möglichkeit bei amorphen und nanokristallinen Legierungen die Permeabilität durch ein entsprechendes Herstellungsverfahren sehr hoch einzustellen, aber dies hätte zur Folge, daß die Magnetkerne leicht in Sättigung gehen. Amorphe und nanokristalline Legierungen lassen sich jedoch auch auf mittlere Permeabilitätswerte im Bereich von 12000 bis 80000 einstellen und verfügen im allgemeinen über eine hohe Sättigungsinduktion. Es ist daher bei nanokristallinen und amorphen Legierungen möglich, die geometrischen Abmessungen eines Magnetkerns, seine Permeabilität und die Windungszahl so aufeinander abzustimmen, daß kleine Bauformen möglich werden. Besonders hervorzuheben ist, daß die Windungszahlen auf optimale Werte eingestellt werden können, so daß sich gleichzeitig eine geringe Streuinduktivität und Wicklungskapazität ergibt. Somit lassen sich mit amorphen und nanokristallinen Magnetkernen Schnittstellenmodule schaffen, die die Anforderungen an die Signalform normgerecht erfüllen und sich zusätzlich durch ein besonders kleines Bauvolumen sowie die Möglichkeit zur kostengünstigen Fertigung in Planartechnik auszeichnen.

Für den Einsatz in Schnittstellenmodulen für lokale Daten-netzwerke besonders geeignete Legierungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Nachfolgend wird die Erfindung näher anhand der beigefügten Zeichnung erläutert. Es zeigen:

Figur 1 ein Übersicht über ein Teil eines lokalen Datennetzwerks;

Figur 2 ein Ausführungsbeispiel einer Schaltung von induktiven Bauelementen in einem Schnittstellenmodul;

Figur 3 ein Diagramm, das die Abhängigkeit des Realteils der Permeabilität im seriellen Ersatzschaltbild für eine nanokristalline Legierung und einen Ferrit darstellt;

---

Figur 4 ein Diagramm, das die Abhängigkeit der Induktivität im Parallel-Ersatzschaltbild einer Spule mit einem nanokristallinen Magnetkern und einer Spule mit einem Ferritkern von der Gleichstrombelastung darstellt;

Figur 5 die Temperaturabhängigkeit der Permeabilität von amorphen und nanokristallinen Legierungen im Vergleich zu der Temperaturabhängigkeit der Permeabilität von Ferriten;

Figur 6 den Frequenzgang des Realteils der Permeabilität einer nanokristallinen Legierung im Vergleich zu einem Ferrit;

Figur 7 den Frequenzgang der Induktivität im Parallelersatzschaltbild für eine Spule mit einem Magnetkern aus einer nanokristallinen Legierung und für Spulen von Ferritkernen;

Figur 8 den Frequenzgang des Ohmschen Widerstands im Parallelersatzschaltbild für einen Magnetkern aus einer nanokristallinen Legierung;

Figur 9 den Frequenzgang der mit dem nanokristallinen Magnetkern aus Figur 7 und 8 erzielbaren Einführungs-  
dämpfung; und

Figur 10 ein Beispiel für eine flachen Hystereseschleife eines Magnetkerns aus einer nanokristallinen Legierung.

5 Lokale Datennetzwerke oder LANs (Local Area Networks) dienen der Verbindung von Rechnern (PCs, Workstations, Mainframes) zur Datenübertragung über kurze Strecken. Man unterscheidet LANs nach Übertragungsstandards (IEEE 802.3, Ethernet, IEEE 802.4 (Token Bus), IEEE 802.5 (Token Ring), Übertragungsraten  
10 (z.B. 10 MBit/s, 100 MBit/s für Ethernet) und physikalischem Übertragungsmedium (RG58-Koaxialkabel, Twisted Pair, Glasfaser, usw.). Rechner können über verschiedene Topologien (Stern, Bus, Ring) zusammengeschaltet werden. Dabei werden, wie in Fig. 1 dargestellt, Zentral-Einheiten 1 wie Hubs,  
15 Switches, Bridges und Router sowie Netzkarten 2 (NICs = Network Interface Cards) in den Rechnern benötigt. Zur Übertragung der Daten in der physikalischen Schicht wird in diesen Geräten und Karten ein Logik-Baustein 3 (Baustein für die physikalische Schicht) verwendet, der entweder direkt oder  
20 über einen Sender-Empfänger-Baustein 4 (Transceiver) an ein LAN-Schnittstellenmodul 5 gekoppelt wird. Dieses LAN-Schnittstellenmodul 5 stellt dann die Verbindung zu einer Datenleitung 6 her.

25 In Figur 2 ist ein Ausführungsbeispiel des Schnittstellenmoduls 5 dargestellt. Das Schnittstellenmodul 5 in Figur 2 umfaßt einen Übertrager 7, sowie stromkompensierte Drosseln 8, die jeweils Magnetkerne 9 aufweisen. Die Magnetkerne 9 können aus demselben oder aus unterschiedlichen Material sein. Neben  
30 den in Figur 2 dargestellten Bauelementen kann das Schnittstellenmodul weitere induktive Bauelemente wie Übertrager-, Drossel- und Filterbauelemente aufweisen.

Im folgenden beschränken wir uns bei der Beschreibung auf  
35 LAN-Schnittstellenmodule 5 für 10 MBit/s- und 100MBit/s-Ethernet als für alle diese LAN-Technologien repräsentative Systeme. Der Hauptfrequenzbereich der Signale ist  $< 10$  MHz

für 10 MBit/s-Ethernet und < 125 MHz für 100 MBit/s-Ethernet. Mit den hier vorgestellten LAN-Schnittstellenmodulen 5 sind jedoch auch höhere Übertragungsraten (z.B. für Gigabit-Ethernet) vorstellbar.

5

An die im LAN-Schnittstellenmodul 5 eingesetzten induktiven Bauelemente sind die folgenden Anforderungen gestellt:

- a)minimales Bauvolumen
- b)Eignung für die verschiedene Übertragungscodesysteme, z.B.
  - 10     • MLT3 (100 MBit/s)
  - 4B5B (100 MBit/s)
  - Manchester-Codierung (10 MBit/s)
- c)Für 100 MBit/s-Ethernet muß nach ANSI X3.263-95 §9.1.7 gelten:
  - 15     Hauptinduktivität > 350  $\mu$ H bei 100 kHz, 100 mVrms und 0 mA
  - <  $I_{DC}$  < 8mA
- d)Für 100 MBit/s-Ethernet muß nach ANSI X3.263-95 §9.1.7 für die Anstiegszeit  $t_{Anstieg}$  und die Abfallzeit  $t_{Abfall}$  der Impulse gelten:  $3ns < t_{Anstieg}, t_{Abfall} < 5ns$
- 20     f)geringes Kerngewicht und SMD - Fähigkeit
- g)Ringkernform, dadurch einfachere Sicherheitsanforderungen nach IEC 950
- h)geringe Einfügedämpfung und hohe Reflexionsdämpfung (für 100 MBit/s-Ethernet nach ANSI X3.263-95 §9.1.5) im gesamten Frequenzbereich
- 5     i)geringer und monotoner Temperaturgang der relevanten magnetischen Kenngrößen im Bereich -40°C - 100°C.

Bei den hier vorgestellten induktiven Bauelementen handelt es sich um induktive Bauelemente für das LAN-Schnittstellenmodul 5, die statt eines Ferritkerns den Magnetkern 9 in der Form eines kleinen Metallbandkerns aus einer amorphen oder nanokristallinen Legierung enthalten. Dieser erhält seine normgerechten Eigenschaften durch eine optimierte Kombination aus

30     Banddicke, Legierung und Wärmebehandlung im Magnetfeld sowie

35     kerntechnologische Fertigungsschritte.

Eine erste grundlegende Anforderung ist, daß die Induktivität des LAN-Übertragers 7 bei 100 kHz größer ist als 350  $\mu\text{H}$ . Dies muß im gesamten Temperaturbereich von 0 bis 70°C oder sogar von -40°C bis +85°C, eventuell sogar von -40°C bis +120°C, bei einem Gleichstrom von bis zu 8 mA gewährleistet sein. Wie Fig. 3, 4 und 5 zeigen, wurde diese Anforderung bei richtig abgestimmter Legierung, Kerndimension und Bewicklung beispielsweise mit nanokristallinen, aber auch mit amorphen Legierungen erfüllt.

10

Figur 3 ist ein Diagramm, in dem der Realteil der Permeabilität im seriellen Ersatzschaltbild gegen die Stärke des Gleichfelds aufgetragen ist. Dabei veranschaulicht die durchgezogene Kurve die Abhängigkeit des Realteils der Permeabilität der nanokristallinen Legierung  $(\text{FeCuNb})_{77,5}(\text{SiB})_{22,5}$ , während die gestrichelte Kurve die Abhängigkeit des Realteils der Permeabilität eines MnZn-Ferrits mit der Handelsbezeichnung („Ferronics B“) andeutet.

Figur 4 zeigt die ideale Induktivität des Übertragers 7 in Abhängigkeit von der Gleichstromvorbelastung. Die durchgezogene Kurve stellt die Induktivität des Übertragers 5 mit dem Magnetkern 9 aus der nanokristallinen Legierung  $(\text{FeCuNb})_{77,5}(\text{SiB})_{22,5}$  bei einer Anfangspermeabilität  $\mu_1(p) = 40000$  und 9 Windungen dar. Die gestrichelte Linie ist die ideale Induktivität eines Übertragers mit einem MnZn-Ferritkern („Ferronics B“) mit einer Anfangspermeabilität von  $\mu_1 = 5000$  und 20 Windungen. Aus Figur 4 geht hervor, daß der Übertrager 5 mit dem Magnetkern 9 aus der nanokristallinen Legierung trotz der geringen Windungszahl die Anforderungen wesentlich besser erfüllt als der Übertrager mit dem Ferritkern.

In Figur 5 ist die relative Permeabilitätsänderung bezogen auf die Permeabilität bei Raumtemperatur in Prozent für verschiedene Materialien aufgetragen. Eine erste steil ansteigende Kurve stellt die Temperaturänderung eines MnZn-Ferrits

mit dem Handelsnamen „Siferit N27“ dar. Die Permeabilität eines weiteren MnZn-Ferrits ( „Ferronics B“) schwankt im Temperaturbereich von -40 bis 120 °C um mehr als +/- 40%. Die relative Permeabilitätsänderung für das nanokristalline  
5  $\text{Fe}_{73,5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{15,5}\text{B}_7$  und das amorphe  $(\text{CuFe})_{72}(\text{MuMnSiB})_{28}$  liegt dagegen im Bereich von +/- 20%.

Des weiteren kann man an Fig. 6 und 7 ansehen, daß bei LAN-Übertrager 5 mit Metallbandkern anders als bei einem solchen  
10 mit Ferritkern keine Resonanzen auftreten (Fig. 6), und daß durch die Wicklungskapazität verursachte Resonanzen wegen der niedrigeren Windungszahl erst am oberen Rand des Signalspektrums auftreten (Fig. 7) und damit - im Vergleich zum Ferrit - eine kleinere Phasenverschiebung der Signale zur Folge haben.  
15 Dies kann sich auf die effektive Bitrate auswirken, da weniger Bitfehler durch die verwendeten Übertragungsprotokolle korrigiert werden müssen.

Eine zweite grundlegende Anforderung ist, daß die Einfügungsdämpfung  $a_E$  des Übertragers 7 über den gesamten Frequenzbereich möglichst gering ist. Mit den hier vorgestellten Magnetkernen 9 sind bei  $f \geq 100$  kHz  $a_E$ -Werte von deutlich unter 1 dB erreichbar. Für einen vorgegebenen Wellenwiderstand (hier: 100  $\Omega$ ) nimmt die Einfügungsdämpfung mit zunehmendem  
20 Wert für  $R_p$  ab.  $R_p$  ist dabei der ohmsche Widerstand im Parallelersatzschaltbild für den Übertrager 7, der die Ummagnetisierungsverluste im Magnetkern 9 sowie die ohmschen Kupferverluste der Bewicklung repräsentiert. Auf der Grundlage der Elektrodynamik läßt sich mit der Dichte  $\rho_{\text{mech}}$  der Zusammenhang  
30

$$R_p(f) = 2 \cdot \pi^2 \cdot N^2 \cdot (1/\rho_{\text{mech}}) \cdot (A_{\text{Fe}}/l_{\text{Fe}}) \cdot f^2 \cdot B^2 / P_{\text{Fe}}(f) \quad (1)$$

herleiten, wobei  $P_{\text{Fe}}(f)$  den Frequenzgang der spezifischen Gesamtverluste darstellt, die ihrerseits wieder von den Hysteres- und von den Bandeigenschaften abhängen. Bei den hier  
35 betrachteten Frequenzen von mehr als 100 kHz und extrem linearen Hystereseschleifen, spielen allerdings nur noch



bandabhängige Wirbelstromverluste sowie gyromagnetische Effekte eine Rolle.

Wie aus Fig. 8 und 9 hervorgeht, lassen sich mit den hier verwendeten, wärmebehandelten Magnetlegierungen ausreichend kleine  $a_E$ - bzw. ausreichend große  $R_p$ -Werte auch bei den hier angestrebten niedrigen Windungszahlen erreichen. Wie auch leicht anhand von Gleichung (2) nachvollzogen werden kann, lassen sich besonders hohe  $R_p$ -Werte bei möglichst niedrigen Banddicken von  $\leq 20 \mu\text{m}$ , besser  $\leq 17 \mu\text{m}$  oder möglichst sogar  $\leq 14 \mu\text{m}$  erreichen. Noch weiter verbessern läßt sich der  $R_p$ -Wert durch eine Beschichtung von mindestens einer Bandoberfläche mit einem elektrisch isolierenden Medium, das eine kleine Dielektrizitätszahl von  $\epsilon_r < 10$  besitzen muß.

Eine dritte grundlegende Anforderung ist, daß die Streuinduktivität  $L_s$  sowohl des Übertragers 7 als auch der stromkompensierten Drosseln 8 möglichst klein ist. Dies geht aus den Anforderungen aus ANSI X3.263 1995 Punkte 9.1.3. (Überschwingen des Signals), 9.1.6. (Anstiegszeiten des Signals) sowie 9.1.5. (Reflexionsdämpfungsanforderungen) hervor. Eine große Streuinduktivität hat ein Überschwingen sowie eine große Anstiegszeit des Signals zur Folge. Bei höheren Signalfrequenzen wird die Reflexionsdämpfung durch eine große Streuinduktivität reduziert. Aufgrund der verwendeten Kerngeometrie (Ringbandkern) und der aufgrund hoher Permeabilität möglichen geringen Windungszahl lassen sich - im Gegensatz zu Ferriten - sehr kleine Streuinduktivitäten erzielen.

Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß sich durch die Kombination aus flacher Hystereseschleife sowie verglichen mit Ferritlösungen deutlich höherer Permeabilität  $\mu$  und Sättigungsinduktion  $B_s$  bei Verwendung von dünnen Bändern der hier verwendeten, wärmebehandelten Legierungen mit hohem spezifischen elektrischen Widerstand Induktivitäten für LAN-Schnittstellenmodule mit besonders niedrigen Windungszahlen und kleiner Baugröße herstellen lassen.

In den hier zugrunde liegenden Untersuchungen wurde erkannt, daß sich die normgerechten Eigenschaften der kleinen Magnetkerne 9 von in den LAN-Schnittstellenmodulen verwendeten Induktivitäten mit amorphen, nahezu magnetostruktionsfreien Kobalt-Basis-Legierungen sowie mit praktisch magnetostruktionsfreien feinkristallinen Legierungen erreichen lassen. Letztere werden üblicherweise als "nanokristalline Legierungen" bezeichnet und sind durch ein extrem feines Korn mit einem mittleren Durchmesser von weniger als 100 nm gekennzeichnet, das mehr als 50 % des Materialvolumens einnimmt. Eine wichtige Voraussetzung ist, daß die Magnetkerne 9 eine hohe Sättigungsinduktion von  $B_s > 0,55 \text{ T}$ , vorzugsweise  $> 0,9 \text{ T}$ , besser  $> 1 \text{ T}$  und eine lineare Hystereseschleife mit einem Sättigungs- zu Remanenzverhältnis  $B_r/B_s < 0,2$ , vorzugsweise  $< 0,08$  besitzen. In diesem Zusammenhang zeichnen sich die magnetostruktionsfreien nanokristallinen Werkstoffe auf Fe-Basis durch eine besonders hohe Sättigungsinduktion von 1,1 T oder mehr aus. Eine Aufzählung sämtlicher betrachteter und für geeignet befundener Legierungssysteme findet sich weiter unten. Eine typische Schleifenform entnimmt man Fig. 10 Eine solche Hystereseschleife läßt sich beispielsweise durch die nachfolgend beschriebenen Fertigungsgänge erreichen:

Das mittels Rascherstarrungstechnologie hergestellte weichmagnetische amorphe Band der Dicke  $d \leq 22 \mu\text{m}$ , vorzugsweise  $\leq 17 \mu\text{m}$ , besser  $\leq 14 \mu\text{m}$  aus einer der unten aufgezählten Legierungen wird auf speziellen Maschinen spannungsfrei zum Magnetkern 9 in dessen Endabmessung gewickelt. Alternativ kommen hierbei aber auch Magnetkerne 9 in Frage, die aus einem Stapel gestanzter Scheiben aus besagten Legierungen aufgebaut sind.

Es wurde herausgefunden, daß sich die normgerechten Anforderungen an die Frequenzeigenschaften dann noch besser erfüllen lassen, wenn das Band vor dem Wickeln des Magnetkerns 9 oder vor dem Stanzen der Scheiben auf einer oder auf zwei Seiten

elektrisch isolierend beschichtet wird. Hierfür wird je nach Legierung, Wärmebehandlung und Anforderungen an die Güte der Isolationsschicht ein Oxidations-, Tauch-, Durchlauf-, Sprüh- oder Elektrolyseverfahren am Band eingesetzt. Dasselbe kann

5 aber auch durch Tauchisolation des gewickelten oder gestapelten Magnetkern 9 erreicht werden. Bei der Auswahl des isolierenden Mediums ist darauf zu achten, daß dieses einerseits auf der Bandoberfläche gut haftet, andererseits keine Oberflächenreaktionen verursacht, die zu einer Schädigung der Magneteigenschaften führen können. Bei den hier verwendeten Legierungen haben sich Oxide, Acrylate, Phosphate, Silikate und Chromate der Elemente Ca, Mg, Al, Ti, Zr, Hf, Si als wirkungsvolle und verträgliche Isolatoren herausgestellt. Besonders effektiv, aber trotzdem schonend, war dabei Mg, welches

10 als flüssiges magnesiumhaltiges Vorprodukt auf die Bandoberfläche aufgebracht wird, und sich während einer speziellen, die Legierung nicht beeinflussenden Wärmebehandlung in eine Schicht aus MgO umwandelt, deren Dicke zwischen 50 nm und 1 µm liegen kann.

20 Bei der anschließenden Wärmebehandlung der isolierten oder unisolierten Magnetkerne 9 zur Einstellung der weichmagnetischen Eigenschaften ist zu unterscheiden, ob der Magnetkern 9 aus einer Legierung besteht, die sich zur Einstellung einer nanokristallinen Struktur eignet oder nicht.

Magnetkerne 9 aus Legierungen, die sich zur Nanokristallisation eignen, werden zur Einstellung des nanokristallinen Gefüges einer exakt abgestimmten Kristallisationswärmebehandlung unterzogen, die je nach Legierungszusammensetzung zwischen 450 °C und 690 °C liegt. Typische Haltezeiten liegen zwischen 4 Minuten und 8 Stunden. Je nach Legierung ist diese Wärmebehandlung im Vakuum oder im passiven oder reduzierenden Schutzgas durchzuführen. In allen Fällen sind materialspezifische Reinheitsbedingungen zu berücksichtigen, die fallweise

30 durch entsprechende Hilfsmittel wie elementspezifische Absorber- oder Gettermaterialien herbeizuführen sind. Dabei wird

35

durch eine exakt abgegliche Temperatur- und Zeitkombination ausgenutzt, daß sich bei den hier eingesetzten, weiter unten näher beschriebenen Legierungszusammensetzungen gerade die Magnetostruktionsbeiträge von feinkristallinem Korn und amorpher Restphase ausgleichen und die erforderliche Magneto-  
5 striktionsfreiheit ( $|\lambda_s| < 2$  ppm, vorzugsweise sogar  $|\lambda_s| < 0,2$  ppm) entsteht. Die hier gewünschten hohen Permeabilitäten setzen diese besonders exakt abgeglichenen Magnetostruktionswerte und damit eine besonders exakt eingestellte Korngrößen-  
10 verteilung und damit Legierungszusammensetzung voraus. Wichtig ist dabei eine genaue Kontrolle der Magnetkerntemperatur im Bereich der Kristallentstehung. Auf keinen Fall darf das Material soweit erhitzt werden, daß durch die Bildung unmagnetischer Phasen wie z.B. Fe-Boride eine irreversible Schädigung der Magneteigenschaften entsteht.  
15

Je nach Legierung und Ausführungsform des Bauelements wird zur Erreichung hoher Permeabilitätswerte entweder feldfrei oder im Magnetfeld längs zur Richtung des gewickelten Bandes  
20 ("Längsfeld") oder quer dazu ("Querfeld") getempert. In bestimmten Fällen kann auch eine Kombination aus zwei oder sogar drei dieser Magnetfeldkonstellationen zeitlich hintereinander oder parallel nötig werden.

5 Die magnetischen Eigenschaften, d.h. die Linearität und die Steigung der Hystereseschleife, können - falls nötig - weit-  
räumig durch eine zusätzliche Wärmebehandlung in einem Magnetfeld, das parallel zur Rotationssymmetrieachse des Magnetkerns 9 steht - also senkrecht zur Bandrichtung, variiert  
30 werden. Je nach Legierung und dimensionsbedingt einzustellen-  
dem Permeabilitätsniveau sind dabei Temperaturen zwischen 350 °C und 690 °C erforderlich. Aufgrund der Kinetik der atomaren Reorientierungsvorgänge sind normalerweise die resultierenden Permeabilitätswerte umso höher, je niedriger die Querfeldtemperatur angesetzt wird. Diese Magnetfeld-Wärmebehandlung wird  
35 entweder direkt mit der Kristallisationswärmebehandlung kombiniert oder separat durchgeführt. Für die Glühatmosfera

gelten dieselben Bedingungen wie bei der Temperung zur Einstellung der nanokristallinen Struktur.

Bei Magnetkernen 9 aus Amorphwerkstoffen erfolgt die Einstellung der magnetischen Eigenschaften, d.h. von Verlauf und

Steigung der linearen flachen Hystereseschleife durch eine Wärmebehandlung in einem Magnetfeld, das parallel zur Rotations-symmetrieachse des Magnetkerns 9 verläuft - also senkrecht zur Bandrichtung. Durch eine günstige Führung der Wärmebehandlung wird ausgenutzt, daß sich der Wert der Sättigungsmagnetostriktion während der Wärmebehandlung um einen von der Legierungszusammensetzung abhängigen Betrag in positive Richtung verändert, bis er in den Bereich  $|\lambda_s| < 2$  ppm, vorzugsweise sogar  $|\lambda_s| < 0,05$  ppm trifft. Wie Tabelle 2 zeigt, wurde dies auch dann erreicht, wenn der Betrag von  $\lambda_s$  im as quenched Zustand des Bandes deutlich über diesem Wert lag. Je nach eingesetzter Legierung kann eine Bespülung des Magnetkerns 9 mit einem reduzierenden (z.B.  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ), passiven oder sogar schwach oxidierenden Schutzgas (z.B.  $\text{He}$ ,  $\text{Ne}$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ) nötig werden, so daß an den Bandoberflächen weder Oxidationen noch andere Reaktionen auftreten können. Genauso wenig dürfen im Innern des Materials festkörperphysikalische Reaktionen durch eindiffundierendes Schutzgas ablaufen.

Je nach Lage von Curietemperatur und Kristallisationstemperatur der verwendeten Legierung können die Magnetkerne 9 für die in den LAN-Schnittstellenmodulen 5 verwendeten Induktivitäten unter angelegtem Magnetfeld mit einer Rate von 0,1 bis 10 K/min auf Temperaturen zwischen 180 °C und 420 °C aufgeheizt werden, auf diesen Temperaturen im Magnetfeld zwischen 0,25 und 48 Stunden gehalten werden und anschließend mit 0,1 - 5 K/min wieder auf Raumtemperatur abgekühlt werden. Aufgrund der allgemeinen Zusammenhänge  $K_u \propto M_s (T_a)^2$  und  $K_u \propto 1/\mu$  ( $K_u$  = Anisotropieenergie,  $M_s$  = Sättigungsmagnetisierung,  $T_a$  = Anlaßtemperatur im Magnetfeld) sind die erzielten Schleifen bei den hier eingesetzten Amorphlegierungen umso flacher, je höher  $M_s$  ist. Demnach befindet man sich in einem

Dilemma, in dem sich hohe Permeabilitäten und hohe Sättigungsinduktionen, die bei hohen Unsymmetrieströmen allerdings unverzichtbar sind, gegenseitig ausschließen.

- 5 Besonders kleine Magnetkerne 9 für LAN-Übertrager 7 lassen sich dann erreichen, wenn die eingesetzten Amorphlegierungen einerseits niedrige Curietemperaturen von beispielsweise weniger als 250 °C, andererseits aber eine immer noch hinreichend hohe Sättigungsinduktion von beispielsweise 0,65 Tesla
- 10 oder mehr besitzen. Solche, im Prinzip widersprüchlichen Kombinationen lassen sich dadurch erreichen, daß der Metalloidgehalt (z.B. Si, B etc.) der Legierung schrittweise erhöht wird, und/oder gleichzeitig ein antiferromagnetisches Element wie z.B. Mn im Bereich weniger at% der Legierung zugeschlagen
- 15 wird. Infolge kleiner magnetischer Momente bei gleichzeitig temperaturbedingter Verzögerung der Reorientierungskinetik lassen sich dann unterhalb der Curietemperatur mittels definierter Abkühlung im Quersfeld besonders kleine uniaxiale (Quer-)Anisotropien von nur 1 J/m<sup>3</sup> oder noch weniger und damit
- 20 Permeabilitätswerte von beispielsweise 20000 bis 200000 erreichen.

- Eine wichtige Voraussetzung zum Erreichen derartig hoher Permeabilitäten ist, daß jegliche Art von Störtermen wie z.B.
- 5 magnetoelastische Anisotropien gegenüber den gewünschten magnetfeldinduzierten Anisotropien vernachlässigbar sind. Zur Erfüllung dieser Voraussetzung muß der gewickelte Magnetkern 9 in der Form eines Metallbandkern auch bei kleinsten Magnetostruktionswerten mittels einer Relaxationsglühung entspannt
- 30 werden. Die hierzu notwendige Temperatur ist so hoch anzusetzen, daß die Relaxationskinetik einerseits hinreichend schnell abläuft, andererseits jedoch noch keine Kristallisation entsteht. Eine besonders hohe Effektivität ist mit diesem Vorgehen dann zu erzielen, wenn die Kristallisations- und
- 35 Curietemperatur um weit mehr als 100 °C auseinander liegen, was gerade bei den hier eingesetzten Amorphlegierungen mit hohem Metalloidgehalt der Fall ist.

Fallweise kann zur Erhöhung der uniaxialen Anisotropieenergie zusätzlich zum langsamen Abkühlen der Magnetkerne 9 im Quersfeld ein Temperaturplateau im Quersfeld eingefügt werden. Den bekannten Einflüssen von Temperaturabhängigkeit der Sättigungsmagnetisierung und Reorientierungskinetik folgend, sind hier der optimale Abstand zur Curietemperatur und die Halte-  
dauer bis zum asymptotischen Erreichen des Gleichgewichtswertes der uniaxialen Anisotropie die entscheidenden Parameter,  
die an die jeweilige Legierung anzupassen sind.

Aufgrund der entmagnetisierenden Felder im Inneren eines Magnetkernstapels, die zu einer betragsmäßigen Schwächung und einer Divergenz der Feldlinien führen, lassen sich auch bei hohen Permeabilitätswerten hinreichend lineare Schleifen dadurch erreichen, daß die Magnetkerne 9 während der Quersfeldbehandlung stirnseitig exakt so aufgestapelt sind, daß die Stapelhöhe mindestens das 10-fache, besser wenigstens das 20-fache des Magnetkernaußendurchmessers beträgt. Dies gilt in gleicher Weise bei nanokristallinen wie bei amorphen Magnetwerkstoffen. Eine typische Magnetisierungskurve, die den linearen Charakter der hier realisierten Schleifen unterstreicht, ist der Fig. 10 zu entnehmen.

Im Anschluß an die Wärmbehandlung werden die Magnetkerne 9 elektrisch isoliert (z.B. oberflächlich passiviert, beschichtet, wirbelgesintert oder in einem Kunststoffgehäuse verkapselt), mit den Primär- und Sekundärwicklungen versehen und gegebenenfalls im Bauelementgehäuse verklebt oder vergossen. Hierbei besteht auch die Möglichkeit einen Aufbau in sogenannter Planartechnologie zu verwenden. Dieses Verfahren ist unabhängig davon, ob der Magnetkern 9 aus amorphem oder nanokristallinem Material besteht. Aufgrund der Sprödigkeit hat allerdings die mechanische Handhabung der ausgetemperten nanokristallinen Magnetkerne 9 mit besonderer Vorsicht zu erfolgen.

Eine weitere Fertigungsmöglichkeit ist, daß das Band zunächst einer Querfeldtemperung im Durchlauf unterzogen und anschließend zum Bandkern gewickelt wird. Der weitere Ablauf verläuft wie oben beschrieben.

5 Die wesentlichen erfüllten Voraussetzungen für 10/100Base-T-Übertrager sind dabei:

- Die Hauptinduktivität des Magnetkerns 9 in der Form eines bewickelten Metallbandkerns muß nach ANSI X3.263 1995 die folgende Bedingung erfüllen:

10  $L_h > 350 \mu\text{H}$  bei 100 kHz.

- Für den Widerstand  $R_p$  im Parallel-Ersatzschaltbild sind bereits mit geringen Windungszahlen ausreichend hohe Werte von über  $> 1\text{k}\Omega$  erreichbar.

15 - Die Hauptinduktivität erfüllt diesen Wert auch bei einer maximalen Gleichstromvorbelastung von 8 mA in einem Temperaturbereich von  $-40^\circ$  bis  $85^\circ\text{C}$ , bei Verwendung von nanokristallinen Legierungen auch bis  $120^\circ\text{C}$ .

20 - Der Linearitätsfehler der Hystereseschleife des Magnetkerns 9 ist so gering, daß für das Verhältnis von Permeabilität  $\mu$  zur mittleren Permeabilität  $\bar{\mu}$  im Bereich  $B_s/100$  bis  $0,8 B_s$  gilt:

$1,2 > \mu(B)/\bar{\mu} > 0,8$ , vorzugsweise  $1,1 > \mu(B)/\bar{\mu} > 0,9$ , wobei B gleichfalls im Intervall  $B_s/100$  bis  $0,8 B_s$  liegt.

5 - Unter Verwendung amorpher und nanokristalliner Magnetwerkstoffe ergeben sich nach abgeglichener Querfeldtemperung für vorgegebene Werte der Hauptinduktivität z.B. die in Tab. 1 dargestellten typischen Abmessungen des Magnetkerns 9, wobei die Abmessungen in der Reihenfolge Außendurchmesser, Innendurchmesser und Höhe des in der  
30 Gestalt eines Ringbandkerns vorliegenden Magnetkerns 9 angegeben sind.



Tab. 1

| $L_{\text{haupt}}$<br>[μH] | $R_p$<br>[Ω] | Windungs-<br>zahl | Kernabmessung<br>[mm <sup>3</sup> ] | Kernmasse<br>[g] | Werkstoff   |
|----------------------------|--------------|-------------------|-------------------------------------|------------------|---|
|                            |              | N                 |                                     |                  |   |
| 830                        | >1 kΩ        | 9                 | 6.0*2.0*2.0                         | 0.3              | Fe <sub>73,5</sub> Cu <sub>1</sub> Nb <sub>3</sub> Si <sub>15,5</sub> B <sub>7</sub>      |
| 830                        | >1 kΩ        | 9                 | 6.0*2.0*2.0                         | 0.3              | Co <sub>68,25</sub> Fe <sub>3,35</sub> Mn <sub>1</sub> Si <sub>16,4</sub> B <sub>11</sub> |
| 830                        | >1 kΩ        | 11                | 4.0*2.0*2.0                         | 0.1              | Fe <sub>73,5</sub> Cu <sub>1</sub> Nb <sub>3</sub> Si <sub>15,5</sub> B <sub>7</sub>      |
| 830                        | >1 kΩ        | 11                | 4.0*2.0*2.0                         | 0.1              | Co <sub>68,25</sub> Fe <sub>3,35</sub> Mn <sub>1</sub> Si <sub>16,4</sub> B <sub>11</sub> |

Ähnliche Abmessungen des Magnetkerns 9 ergeben sich auch beim Einsatz der anderen unten aufgezählten Legierungen, die anwendungsspezifisch eingesetzt werden.

Bei der Dimensionierung der induktive Bauelemente des Schnittstellenmoduls 5, insbesondere des Übertragers 7, sind eine Reihe von Zusammenhängen zu beachten.

Für die Induktivität des Übertragers 7 gilt der Zusammenhang

$$L = N^2 \mu_0 \mu_r A_{fe} / l_{fe} \quad (2)$$

$N$  = Windungszahl

$\mu_0$  = universelle Permeabilitätskonstante

$\mu_r$  = Permeabilität des Materials

$A_{fe}$  = Eisenquerschnitt des Magnetkerns

$l_{fe}$  = Eisenweglänge des Magnetkerns.

Aus Gleichung (2) wird ersichtlich, daß die erforderliche Induktivität bei minimalem Bauvolumen nur dann erreichbar ist, wenn Windungszahlen, Permeabilität, Eisenquerschnitt und Eisenweglänge aufeinander abgestimmt sind. Die im gesamten Bereich der Arbeitsfrequenz gültige Permeabilität  $\mu$  des Kernmaterials ist neben der günstigen ringförmigen Geometrie der ausschlaggebende Parameter für eine möglichst kompakte Abmessung des Übertragers 7. Je nachdem welche der nachfolgend

aufgezählten Legierungen zum Einsatz kommt, und wie die zugehörige Wärmebehandlung geführt wird, läßt sich in definierter Weise ein Permeabilitätsbereich zwischen 10000 und 100000 abdecken. Die mit diesen Magnetkernen 9 realisierten LAN-

5 Schnittstellenmodule 5 besitzen aufgrund ihrer Bauform, der hohen Permeabilität und der hohen Sättigungsinduktion der eingesetzten Metallbandkerne gegenüber den Ferritkernen einen starken Volumenvorteil.

10 Bei der Auswahl des Kernwerkstoffes für die Induktivitäten des Übertragers 7 entsteht eine Einschränkung dadurch, daß der Magnetkern 9 bei der Gleichstromvorbelastung von 8 mA nicht in Sättigung gehen darf. Ferner muß der Klirrfaktor bei maximaler  $I_{dc}$ -Aussteuerung unter einer normgemäß festgelegten  
15 Grenze bleiben. Die mit der  $I_{dc}$ -Vorbelastung verbundene magnetische Feldstärke  $H_{dc}$  ist durch

$$H_{dc} = N * I_{dc} / l_{fe} \quad (3)$$

20 gegeben. Die Induktivität und der Klirrfaktor dürfen bei dieser Gleichstromvorlastung im gesamten Temperaturbereich nur sehr geringfügig abfallen.

Im Gegensatz zu den induktiven Bauelementen mit Ferriten, bei  
25 denen Gleichung (2) die Windungszahlen festlegt, ist für die Dimensionierung von induktiven Bauelementen mit nanokristallinen oder amorphen Metallkernen Gleichung (1) maßgebend. Die Windungszahl  $N$  darf nämlich nicht zu klein gewählt werden, da sonst die Einfügedämpfung aufgrund des zu geringen  $R_p$ -  
30 Widerstands des Übertragers 7 zu groß wird. Außerdem haben kleine Windungszahlen hohe Streuinduktivitäten zur Folge, die ein Überschwingen sowie eine große Anstiegszeit des Signals bewirken. Eine Erhöhung der Windungszahl führt ferner zu einer kleineren Signalaussteuerung  $B_{ac}$  und damit zu einem geringeren Klirrfaktor. Der Übertrager 7 weist daher bevorzugt  
35 mittlere Windungszahlen zwischen 5 und 25 Windungen auf.

Diese Situation erfordert bei der Werkstoffauswahl eine Kombination aus hoher Sättigungsinduktion  $B_s$ , hoher Permeabilität  $\mu$  und geringen Kernverlusten ( $\sim 1/R_p$ ).

- 5 Eine hohe Permeabilität und damit eine geringe Windungsanzahl sowie die Ringbandform der Magnetkerne 9 führen zu kleinen Übertragern 7 mit kleiner Streuinduktivität und kleinen Koppel- und Wicklungskapazitäten. Dies wiederum führt zu kürzeren Anstiegszeiten, besserer Unsymmetriedämpfung sowie verbessertem Übertragungsverhalten im gesamten Frequenzbereich.
- 

- 15 Nachfolgend werden mehrere geeignete Legierungssysteme beschrieben. Es wurde herausgefunden, daß sich mit den nachfolgend beschriebenen Legierungssystemen unter Einhaltung der oben genannten Bedingungen induktive Bauelemente für die Schnittstellenmodule 5 mit besonders linearen Hystereseschleifen und kleinen Bauformen herstellen lassen, die alle normgerechten Eigenschaften besitzen.
- 20 Es sei angemerkt, daß bei der Angabe der nachfolgend aufgeführten Legierungssysteme die Kleiner- und Größerzeichen die Grenzen miteinschließen; außerdem sind alle at%-Angaben als ungefähr zu betrachten.

## Legierungssystem 1:

Ein erstes Legierungssystem weist die Zusammensetzung  $\text{Co}_a(\text{Fe}_{1-c}\text{Mn}_c)_b\text{Ni}_d\text{M}_e\text{Si}_x\text{B}_y\text{C}_z$  auf, wobei M ein oder mehrere Elemente aus der Gruppe Nb, Mo, Ta, Cr, W, Ge und / oder P bezeichnet und  $a+b+d+e+x+y+z = 100$  ist, mit

|    |  |                            |   |
|----|--|----------------------------|---|
|    | Co   | $a = 40 - 82 \text{ at\%}$ | vorzugsweise $55 < a < 72 \text{ at\%}$ |
|    | Fe+Mn  | $b = 3 - 10 \text{ at\%}$  |   |
| 10 | Mn/Fe  | $c = 0 - 1$                | vorzugsweise $x < 0.5$                  |
|    | Ni   | $d = 0 - 30 \text{ at\%}$  | vorzugsweise $d < 20 \text{ at\%}$      |
|    | M  | $e = 0 - 5 \text{ at\%}$   | vorzugsweise $e < 3 \text{ at\%}$       |
|    | Si   | $x = 0 - 18 \text{ at\%}$  | vorzugsweise $x > 1 \text{ at\%}$       |
|    | B  | $y = 8 - 26 \text{ at\%}$  | vorzugsweise $8 - 20 \text{ at\%}$      |
| 15 | C  | $z = 0 - 3 \text{ at\%}$   |   |
|    | $15 < e+x+y+z < 30$ , vorzugsweise $20 < e+x+y+z < 30$ |                            |   |

Legierungen dieses Systems bleiben nach der beschriebenen Wärmebehandlung amorph. Abhängig von der Zusammensetzung und Wärmebehandlung konnten damit extrem lineare Hystereseschleifen mit einem sehr weiten Permeabilitätsbereich zwischen 500 und 150000 oder sogar mehr realisiert werden.

Für die vorliegende Erfindung hat sich als besonders wichtig herausgestellt, daß sich der Wert der Sättigungsmagnetostriktion mit einer auf die Legierungszusammensetzung abgestimmten Wärmebehandlung sicher auf besonders kleine Werte von  $|\lambda_s| < 0,1 \text{ ppm}$  einstellen läßt. Dadurch bedingt ist eine besonders lineare Schleifenform, die zu einer besonders hohen Konstanz der Permeabilität über einen weiten Induktionsbereich führt. Außerdem wird hierdurch das Auftreten schädlicher magnetoelastischer Resonanzen des ringbandförmigen Magnetkerns 9 vermieden. Diese würden bei bestimmten Frequenzen des Induktionsverlaufes zu Einbrüchen in der Permeabilität und/oder zu erhöhten Ummagnetisierungsverlusten führen. Bei den Untersuchungen wurde herausgefunden, daß gerade die Kombination aus dieser annähernden Magnetostriktionsfrei-

heit, einer möglichst geringen Banddicke (am besten kleiner 17  $\mu\text{m}$ ) und einem vergleichsweise hohen spezifischen elektrischen Widerstand von 1,1 bis 1,5  $\mu\Omega\text{m}$  zu einem extrem guten Frequenzverhalten führt, das für den Übertrager 7 besonders  
5 gut geeignet ist.

### Legierungssystem 2:

Ein zweites Legierungssystem weist die Zusammensetzung  
10  $\text{Fe}_x\text{Cu}_y\text{M}_z\text{Si}_v\text{B}_w$  auf, wobei M ein Element aus der Gruppe Nb, W, Ta, Zr, Hf, Ti, Mo oder eine Kombination aus diesen bezeichnet und  $x + y + z + v + w = 100 \text{ at}\%$  ist, mit

|    |    |  |                           |
|----|----|--|---------------------------|
|    | Fe | $x = 100 \text{ at}\% - y - z - v - w$ |                           |
| 15 | Cu | $y = 0,5 - 2 \text{ at}\%$             | vorzugsweise 1 at %       |
|    | M  | $z = 1 - 6 \text{ at}\%$               | vorzugsweise 2 - 4 at %   |
|    | Si | $v = 6,5 - 18 \text{ at}\%$            | vorzugsweise 14 - 17 at % |
|    | B  | $w = 5 - 14 \text{ at}\%$              | vorzugsweise 6 - 9 at %   |

wobei  $v + w > 18 \text{ at}\%$ , vorzugsweise  $v + w = 20$  bis 24 at %  
20 ist.

Legierungen dieses Systems haben sich wegen ihrer linearen Schleifenform und ihres sehr guten Frequenzverhaltens für den Übertrager 7 als sehr gut geeignet herausgestellt. Besonders  
25 gute Eigenschaften werden bei den als "vorzugsweise" hervorgehobenen Legierungszusammensetzungen erreicht, da hier, ebenso wie im Legierungssystem 1 ein Nulldurchgang der Sättigungsmagnetostriktion eingestellt werden kann. Dabei wurde  
auch hier herausgefunden, daß gerade die Kombination aus ei-  
30 nem hohen spezifischen elektrischen Widerstand von 1,1 bis 1,2  $\mu\Omega\text{m}$  und einer kleinen Banddicke zu einem ausgezeichneten Frequenzverhalten führt, das durch reduzierte Banddicken von 14  $\mu\text{m}$  oder sogar noch darunter weiter gesteigert werden kann. Wie aus Fig. 3 hervorgeht, sind bei optimal abgestimmter Wärmebehandlung bei 100 kHz Anfangspermeabilitäten von  $\mu_i(100$   
35 kHz) > 25000 problemlos einhaltbar, bei den hier durchgeführ-

ten Untersuchungen wurde fallweise sogar  $\mu_1 > 50000$  beobachtet.

Daneben hat sich auch die mit  $B_s = 1,1$  bis  $1,3$  T gemessene, vergleichsweise hohe Sättigungsinduktion bei extrem linearen Schleifen als sehr vorteilhaft erwiesen, da hierdurch eine hohe Stabilität gegenüber Unsymmetrieströmen entsteht. Außerdem werden hohe Werte für die gyromagnetische Grenzfrequenz, die letztlich von  $B_s/\mu_1$  abhängt, erzielt. Letzteres ist eine wichtige Voraussetzung für hohe Permeabilitäten im MHz-Bereich. Zusätzlich wurde gefunden, daß die Temperaturcharakteristik der Magnetkerne 9 über die Wärmebehandlung zur Einstellung der Permeabilität gezielt angepaßt werden kann. Dar- aus können gerade bei rauen Umweltbedingungen, wie sie in Telekommunikationseinrichtungen durchaus auftreten können, nicht anders realisierbare anwendungsspezifische Vorteile erwachsen.

### Legierungssystem 3:

Ein drittes Legierungssystem ist zusammengesetzt gemäß  $\text{Fe}_x\text{Zr}_y\text{Nb}_z\text{B}_v\text{Cu}_w$ , wobei  $x + y + z + v + w = 100$  at % ist, mit

|    |   |                           |
|----|---|---------------------------|
| Fe | $x = 100 \text{ at \%} - y - z - v - w$ |                           |
|    |   | vorzugsweise 83 - 86 at % |
| Zr | $y = 2 - 5 \text{ at \%}$               | vorzugsweise 3 - 4 at %   |
| Nb | $z = 2 - 5 \text{ at \%}$               | vorzugsweise 3 - 4 at %   |
| B  | $v = 5 - 9 \text{ at \%}$               |                           |
| Cu | $w = 0,5 - 1,5 \text{ at \%}$           | vorzugsweise 1 at %       |

wobei  $y + z > 5$  at %, vorzugsweise 7 at % ist,  
und  $y + z + v > 11$ , vorzugsweise 12 - 16 at % ist.

Mit Legierungen dieses Systems werden durch Querfeld- wärmebehandlungen, die legierungsspezifisch im Intervall zwischen  $510^\circ\text{C}$  und  $680^\circ\text{C}$  durchzuführen sind, ebenfalls lineare Hystereseschleifen mit Permeabilitäten zwischen ca. 12.000 und mehr als 30.000 erreicht. Bei Banddicken um  $15 \mu\text{m}$

liegen bei 100 kHz immer noch Anfangspermeabilitäten von nahezu 20.000 vor und damit ein gutes, für die induktiven Bauelemente im Schnittstellenmodul 5 geeignetes Frequenzverhalten. Besonders günstig wirkt sich auch hier die hohe Sättigungsinduktion von 1,5 bis 1,6 T auf die Größe des induktiven Bauelements und die Lage der gyromagnetischen Grenzfrequenz aus. Hervorzuheben ist hier die sehr kleine Sättigungsmagnetostriktion, die bei Anlaßtemperaturen um 600° C deutlich unter  $|\lambda_s| = 1$  ppm liegt.

10

#### Legierungssystem 4:

Ein viertes Legierungssystem hat die Zusammensetzung  $\text{Fe}_x\text{M}_y\text{B}_z\text{Cu}_w$ , wobei M ein Element aus der Gruppe Zr, Hf, Nb bezeichnet und  $x + y + z + w = 100$  at % ist, mit

15

|    |                                      |                           |
|----|--------------------------------------|---------------------------|
| Fe | $x = 100 \text{ at } \% - y - z - w$ | vorzugsweise 83 - 91 at % |
| M  | $y = 6 - 8 \text{ at } \%$           | vorzugsweise 7 at %       |
| B  | $z = 3 - 9 \text{ at } \%$           |                           |
| Cu | $w = 0 - 1,5 \text{ at } \%$         |                           |

20

Mit Legierungen dieses Systems läßt sich die Grundvoraussetzung  $|\lambda_s| < 1$  ppm erfüllen. Die mit den durchgeführten Querfelddbehandlungen zwischen 510 °C und 680 °C legierungsspezifisch erreichbaren Permeabilitäten liegen zwischen 2000 und 15000. Die hohe Sättigungsinduktion von 1,5 bis 1,6 T erlaubt ebenfalls die Realisierung sehr kleiner Schnittstellenmodule 5.

30

#### Legierungssystem 5:

Ein fünftes Legierungssystem hat die Zusammensetzung  $(\text{Fe}_{0,98}\text{Co}_{0,02})_{90-x}\text{Zr}_7\text{B}_{2+x}\text{Cu}_1$  mit  $x = 0 - 3$ , vorzugsweise  $x = 0$ , wobei bei entsprechendem Abgleich der restlichen Legierungsbestandteile Co durch Ni ersetzbar ist.

35

Mit diesem System ist bei legierungsspezifisch abgestimmter Querfeldwärmebehandlung ebenfalls ein Nulldurchgang in der Sättigungsmagnetostriktion zu erreichen, der bei Anfangspermeabilitäten von  $\mu_1 > 10000$  besonders lineare Hystereseverläufe erlaubt. Dadurch werden die Frequenzgänge der komplexen Permeabilität so gut, daß sie denen der Legierungssysteme 1 und 2 sehr nahe kommen. Herausragender Vorteil dieses Systems ist die hohe Sättigungsinduktion, die mit Werten um  $B_s = 1,70$  T liegt.

10

Aufgrund der besonders günstigen Kombination aus annähernder Magnetostriktionsfreiheit und hoher Sättigungsinduktion lassen sich wieder Schnittstellenmodule 5 mit besonders kleinen Bauformen realisieren.

15

Die Legierungssysteme 2 bis 5 erhalten nach der Wärmebehandlung eine feinkristalline Struktur mit Korndurchmessern unter 100 nm. Diese Körner sind von einer amorphen Phase umgeben die allerdings weniger als 50 % des Materialvolumens einnimmt.

20

Sämtliche Legierungssysteme 1 bis 5 zeichnen sich durch die folgenden Eigenschaften aus:

25

- sehr lineare Hystereseschleife .

30

- Betrag der Sättigungsmagnetostriktion  $|\lambda_s| < 2$  ppm, vorzugsweise  $< 0,1$  ppm nach der Wärmebehandlung. Bei den Kobalt-Basis-Amorphwerkstoffen dadurch einzustellen, daß der Fe und Mn-Gehalt entsprechend feinangepaßt wird. Bei den nanokristallinen Legierungen über die Größe des feinkristallinen Kornes, zu erreichen durch eine gezielte Abstimmung der Wärmebehandlung, des Metalloidgehaltes und des Gehaltes an Refraktärmetallen.

35



- Sättigungsinduktion von 0.56 T - 1.7 T. Die Sättigungsinduktion kann durch die Wahl des Gehaltes an Ni, Co, M, Si, B und C feinabgestimmt werden.

5 - Bänder, deren Dicken weniger als 17  $\mu\text{m}$  betragen können

- Hoher spezifischer elektrischer Widerstand, der bis zu 1,5  $\mu\Omega\text{m}$  betragen kann.

10 Beispiele:

Die oben genannten Anforderungen und Legierungsbereiche werden nach Durchführung der beschriebenen Wärmebehandlung z.B. durch die in Tabelle 2 aufgeführten Legierungsbeispiele eingehalten bzw. erfüllt.

| Legierungs-<br>zusammensetzung<br>[at%]  | Struktur | Sättig.-<br>induktion<br>[T] | Anfangs-<br>permeabilität<br>$\mu_i$ | Sättigungsmagneto-<br>striktion $\lambda_s$ |                       |
|--|----------|------------------------------|--------------------------------------|---|-----------------------|
|  |          |                              |                                      | as quen-<br>ched                            | wärmebe-<br>handelt   |
| (CoFe) <sub>72</sub> Mo <sub>1,5</sub> (SiB) <sub>26,5</sub>                         | amorph   | 0,57                         | 50.000...<br>130.000                 | -12*10 <sup>-8</sup>                        | -1,3*10 <sup>-8</sup> |
| (CoFeMn) <sub>74</sub> (SiB) <sub>26</sub>   | amorph   | 0,65                         | 25.000...<br>60.000                  | -15*10 <sup>-8</sup>                        | -2,1*10 <sup>-8</sup> |
| Fe <sub>73,5</sub> Cu <sub>1</sub> Nb <sub>3</sub> Si <sub>15,5</sub> B <sub>7</sub> | nanokr.  | 1,21                         | 20.000....<br>150.000                | +24*10 <sup>-6</sup>                        | +1,6*10 <sup>-7</sup> |
| Fe <sub>84</sub> Zr <sub>3,5</sub> Nb <sub>3,5</sub> B <sub>8</sub> Cu <sub>1</sub>  | nanokr.  | 1,53                         | 12.000...<br>30.000                  | +3*10 <sup>-6</sup>                         | +1,5*10 <sup>-7</sup> |

Tab.2

Die in Tabelle 2 amorphen, fein- oder nanokristallinen Legierungen zeichnen sich durch besonders hohe Werte der Sättigungsinduktion von bis zu 1,7 Tesla aus. Diese lassen vergleichsweise hohe Permeabilitätswerte zu, wodurch gegenüber Ferritübertragern Vorteile hinsichtlich Baugröße und Bewicklung entstehen.

## Patentansprüche

1. Schnittstellenmodul für lokale Datennetzwerke mit einem  
5 als Übertrager dienenden induktiven Bauelement (7) zur Koppe-  
lung von Schnittstellenschaltungen an eine der Verbindung von  
Rechnern dienende Datenleitung, wobei das induktive Bauele-  
ment einen Magnetkern (9) und eine Vielzahl von darauf aufge-  
brachten Wicklungen aufweist,  
10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß das als Übertrager dienende induktive Bauelement (7) ei-  
nen Magnetkern (9) aus einer amorphen oder nanokristallinen  
Legierung mit einer Permeabilität  $\mu > 15000$  aufweist und die  
Windungszahlen der Wicklungen zwischen 5 und 25 liegen.

15

2. Schnittstellenmodul nach Anspruch 1 ,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß die amorphe oder nanokristalline Legierung eine Permeabi-  
lität  $\mu > 30000$  aufweist.

20

3. Schnittstellenmodul nach Anspruch 1 oder 2,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß die Legierung die Zusammensetzung  $\text{Co}_a(\text{Fe}_{1-c}\text{Mn}_c)_b\text{Ni}_d\text{M}_e\text{Si}_x\text{B}_y\text{C}_z$   
aufweist, wobei M ein oder mehrere Elemente aus der Gruppe  
25 Nb, Mo, Ta, Cr, W, Ge und / oder P bezeichnet und  
 $a+b+d+e+x+y+z = 100$  at% ist, mit

Co            a = 40 - 82 at%

Fe+Mn        b = 3 - 10 at%

Mn/Fe        c = 0 - 1

30 Ni            d = 0 - 30 at%

M            e = 0 - 5 at%

Si            x = 0 - 18 at%

B            y = 8 - 26 at%

C            z = 0 - 3 at%

35 und  $15 \text{ at\%} < e+x+y+z < 30 \text{ at\%}$

4. Schnittstellenmodul nach Anspruch 3 ,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Beziehungen gelten:

Co             $a = 55 - 72 \text{ at\%}$   
5    Mn/Fe       $c = 0 - 0,5$   
Ni             $d = 0 - 20 \text{ at\%}$   
M              $e = 0 - 3 \text{ at\%}$   
B              $y = 8 - 20 \text{ at\%}$   
Si             $x = 1 - 18 \text{ at\%}$   
10    und  $20 \text{ at\%} < e+x+y+z < 30 \text{ at\%}$

5. Schnittstellenmodul nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Legierung die Zusammensetzung  $\text{Fe}_x\text{Cu}_y\text{M}_z\text{Si}_v\text{B}_w$  aufweist,  
15    wobei M ein Element aus der Gruppe Nb, W, Ta, Zr, Hf, Ti, Mo  
oder eine Kombination aus diesen bezeichnet und  $x + y + z + v$   
+  $w = 100 \text{ at\%}$  ist, mit

Fe             $x = 100 \text{ at\%} - y - z - v - w$   
Cu             $y = 0,5 - 2 \text{ at \%}$   
20    M             $z = 1 - 6 \text{ at \%}$   
Si             $v = 6,5 - 18 \text{ at \%}$   
B              $w = 5 - 14 \text{ at \%}$ ,  
wobei  $v + w > 18 \text{ at \%}$  ist.

6. Schnittstellenmodul nach Anspruch 5,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die Beziehungen gelten:

Cu             $y = 1 \text{ at \%}$   
M              $z = 2 - 4 \text{ at \%}$   
30    Si             $v = 14 - 17 \text{ at \%}$   
wobei  $v + w = 20 \text{ bis } 24 \text{ at \%}$  ist.

7. Schnittstellenmodul nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
35    daß die Legierung die Zusammensetzung  $\text{Fe}_x\text{Zr}_y\text{Nb}_z\text{B}_v\text{Cu}_w$  auf-  
weist, wobei  $x + y + z + v + w = 100 \text{ at \%}$  ist, mit

Fe             $x = 100 \text{ at \%} - y - z - v - w$

Zr             $y = 2 - 5 \text{ at } \%$   
 Nb             $z = 2 - 5 \text{ at } \%$   
 B              $v = 5 - 9 \text{ at } \%$   
 Cu             $w = 0,5 - 1,5 \text{ at } \%$

5 wobei  $y + z > 5 \text{ at } \%$  und  $y + z + v > 11 \text{ at } \%$  ist.

8. Schnittstellenmodul nach Anspruch 7,  
 dadurch gekennzeichnet,  
 daß die Beziehungen gelten:

10 Fe             $x = 83 - 86 \text{ at } \%$   
 Zr             $y = 3 - 4 \text{ at } \%$   
 Nb             $z = 3 - 4 \text{ at } \%$   
 Cu             $w = 1 \text{ at } \%$

wobei  $y + z > 7 \text{ at } \%$  und  $y + z + v > 12 \text{ bis } 16 \text{ at } \%$  ist.

15

9. Schnittstellenmodul nach Anspruch 1 oder 2,  
 dadurch gekennzeichnet,  
 daß die Legierung die Zusammensetzung  $\text{Fe}_x\text{M}_y\text{B}_z\text{Cu}_w$  aufweist, wo-  
 bei M ein Element aus der Gruppe Zr, Hf, Nb bezeichnet und  $x$   
 20  $+ y + z + w = 100 \text{ at } \%$  ist, mit

Fe             $x = 100 \text{ at } \% - y - z - w$   
 M             $y = 6 - 8 \text{ at } \%$   
 B             $z = 3 - 9 \text{ at } \%$   
 Cu             $w = 0 - 1,5 \text{ at } \%$ .

25

10. Schnittstellenmodul nach Anspruch 9,  
 dadurch gekennzeichnet,  
 daß die Beziehungen gelten:

30 Fe             $x = 83 - 91 \text{ at } \%$   
 M             $y = 7 \text{ at } \%$ .

11. Schnittstellenmodul nach Anspruch 1 oder 2,  
 dadurch gekennzeichnet,

35 daß die Legierung die Zusammensetzung  $(\text{Fe}_{0,98}\text{Co}_{0,02})_{90-x}\text{Zr}_7\text{B}_{2+x}\text{Cu}_1$   
 aufweist mit  $x = 0 - 3 \text{ at } \%$ , wobei bei entsprechendem Abgleich  
 der restlichen Legierungsbestandteile Co durch Ni ersetzbar  
 ist.

12. Schnittstellenmodul nach Anspruch 11 ,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß  $x = 0$  gilt.

## Zusammenfassung

### Schnittstellenmodule für lokale Datennetzwerke

- 5 Ein Schnittstellenmodul für lokale Datennetzwerke weist eine Reihe von induktiven Bauelementen (7, 8) auf, die dazu dienen eine Schnittstellenschaltung (3, 4) mit einer Datenleitung (6) zu verbinden. Die induktiven Bauelemente, insbesondere der Übertrager (8) weisen Magnetkerne (9) aus einer amorphen oder nanokristallinen Legierung und zeichnen sich durch ein besonders kleines Bauvolumen aus.
- 10

Figur 2

FIG 1

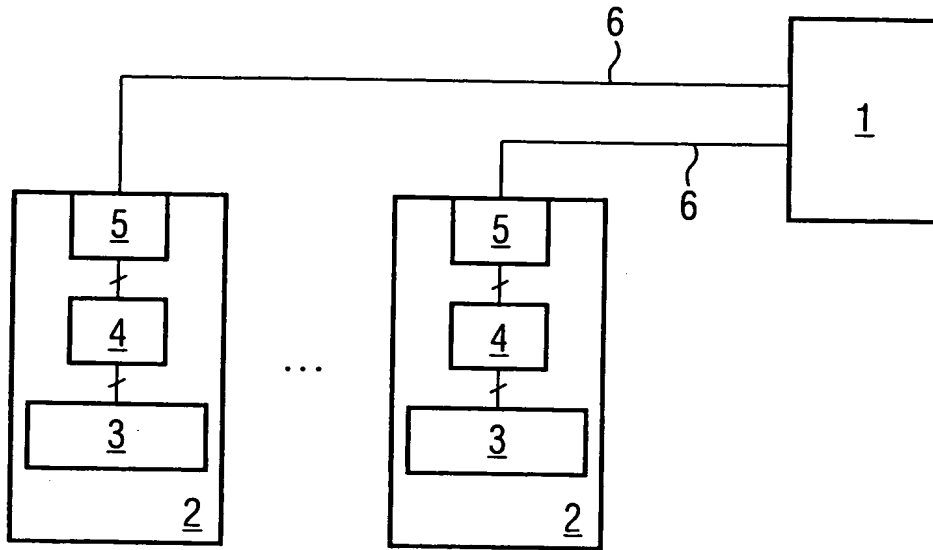


FIG 2

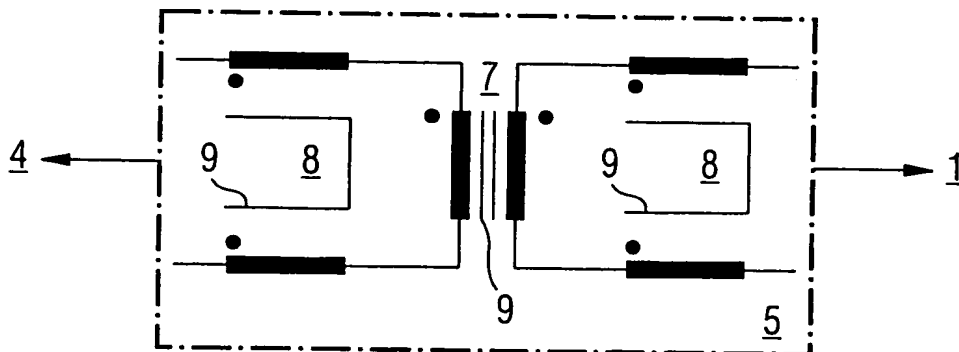


FIG 3

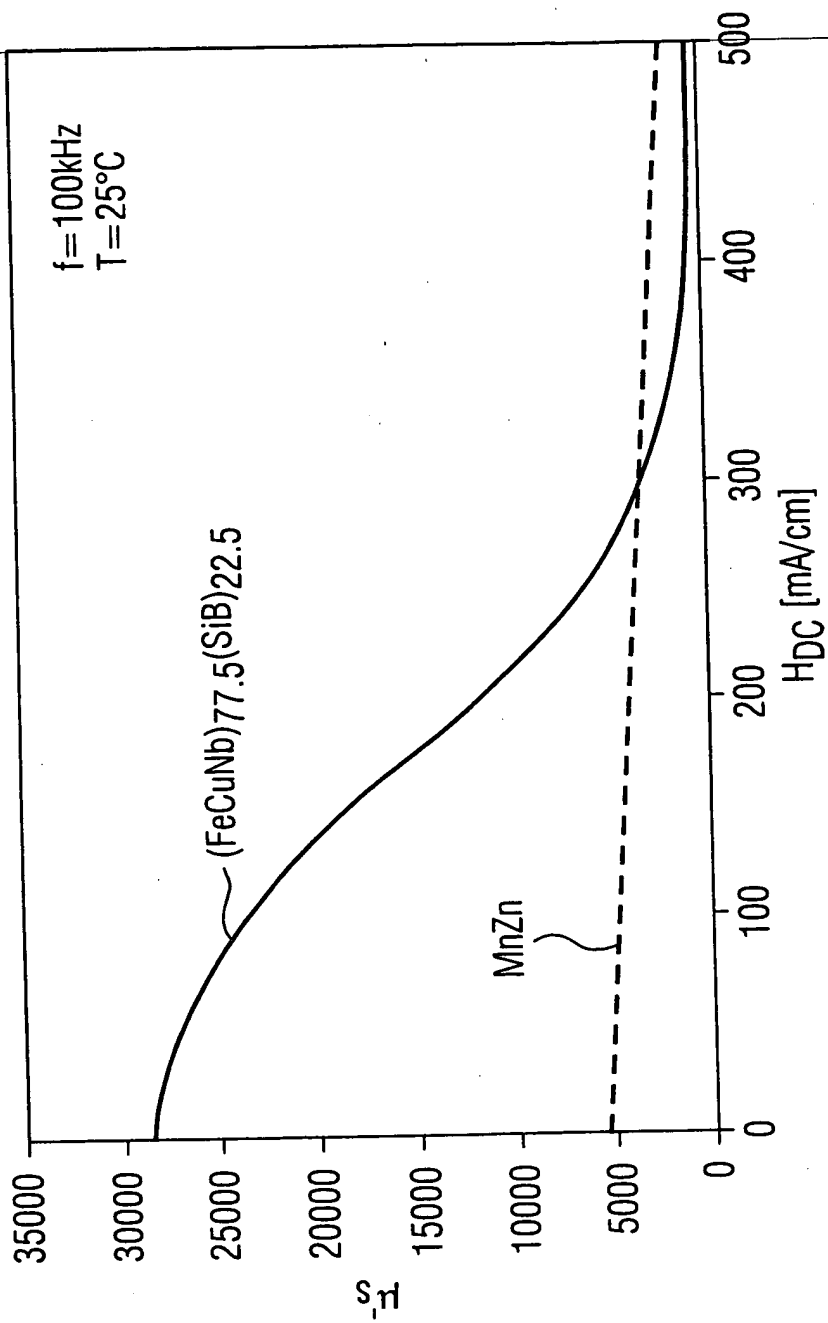




FIG 4

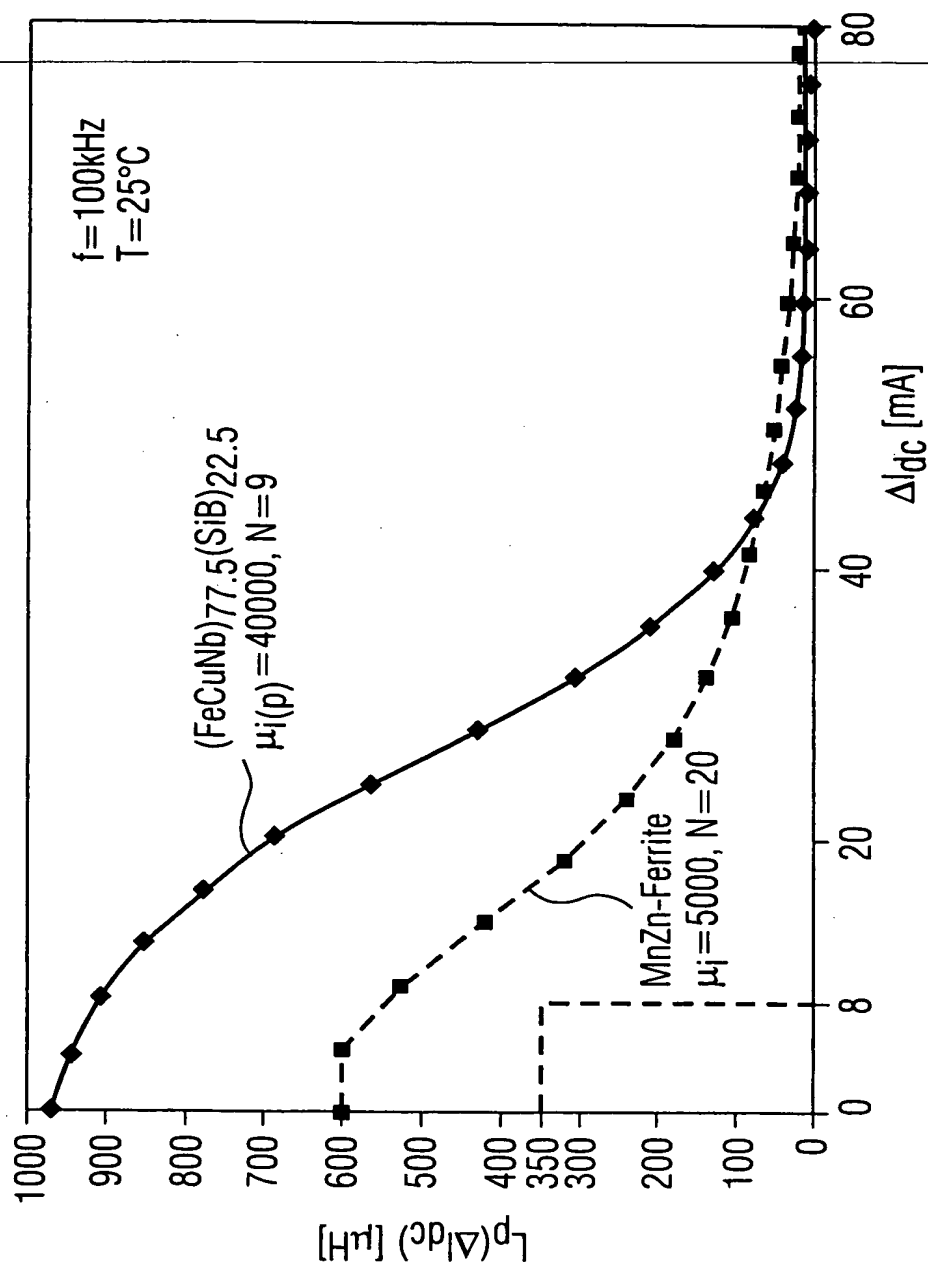


FIG 5

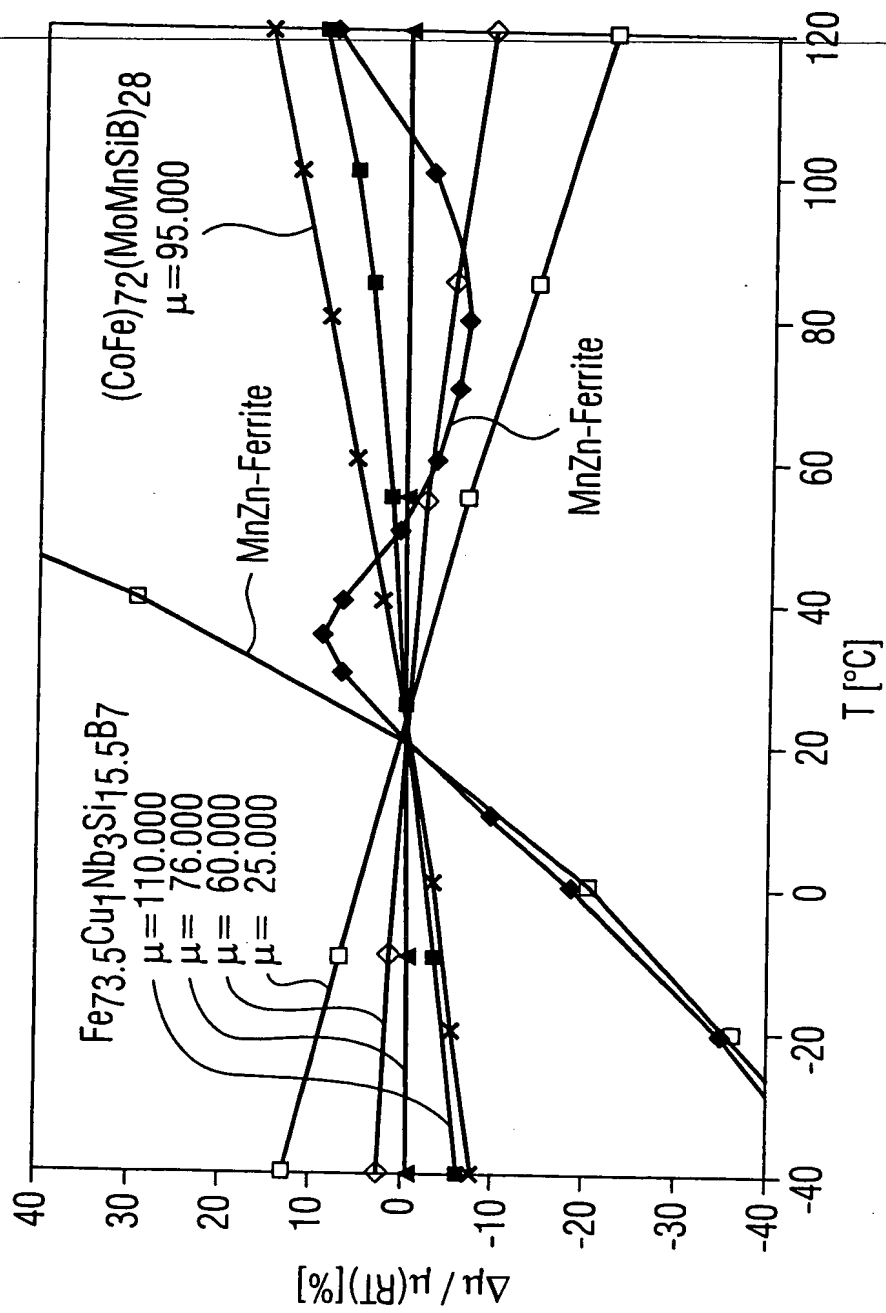


FIG 6

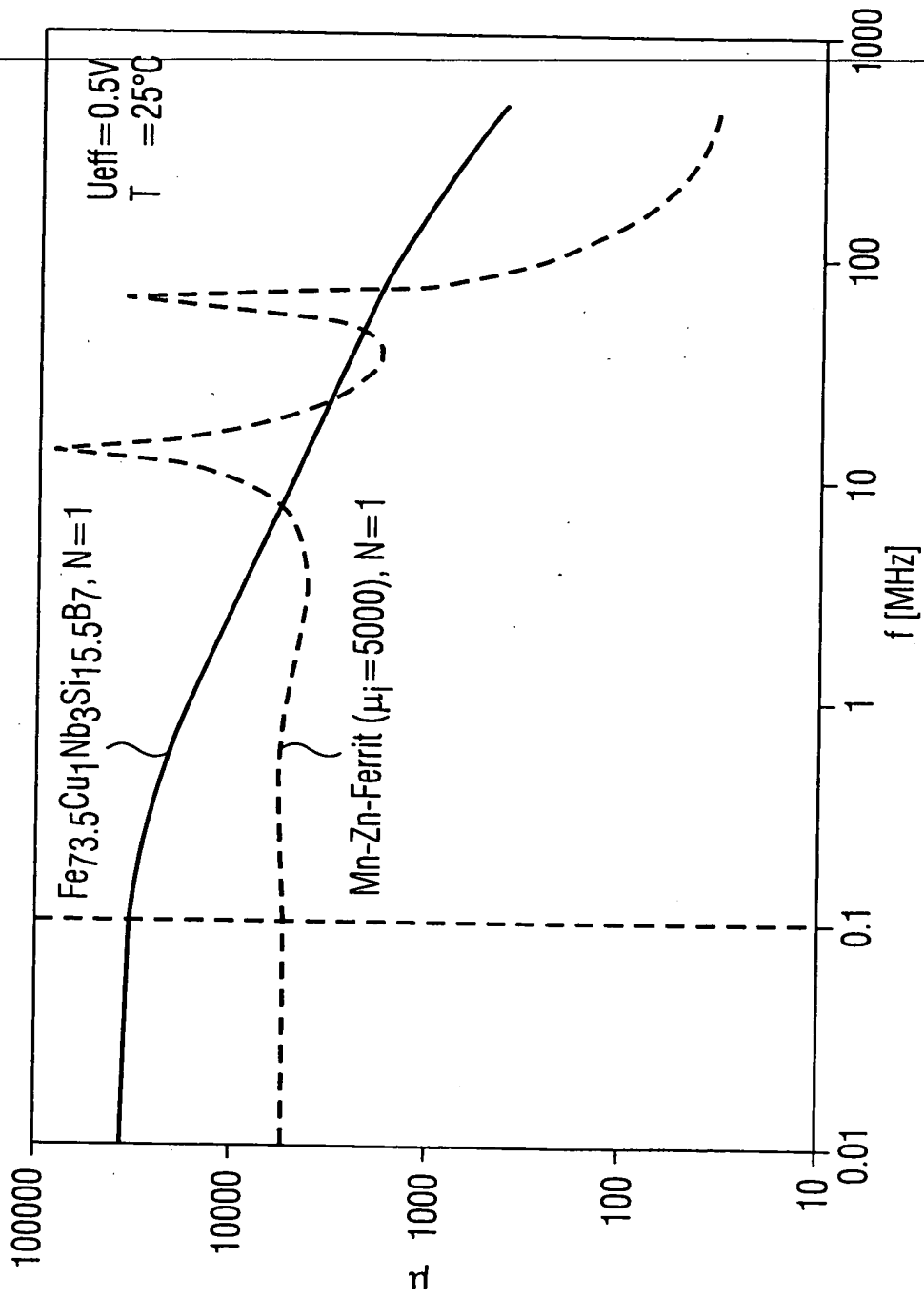


FIG 7

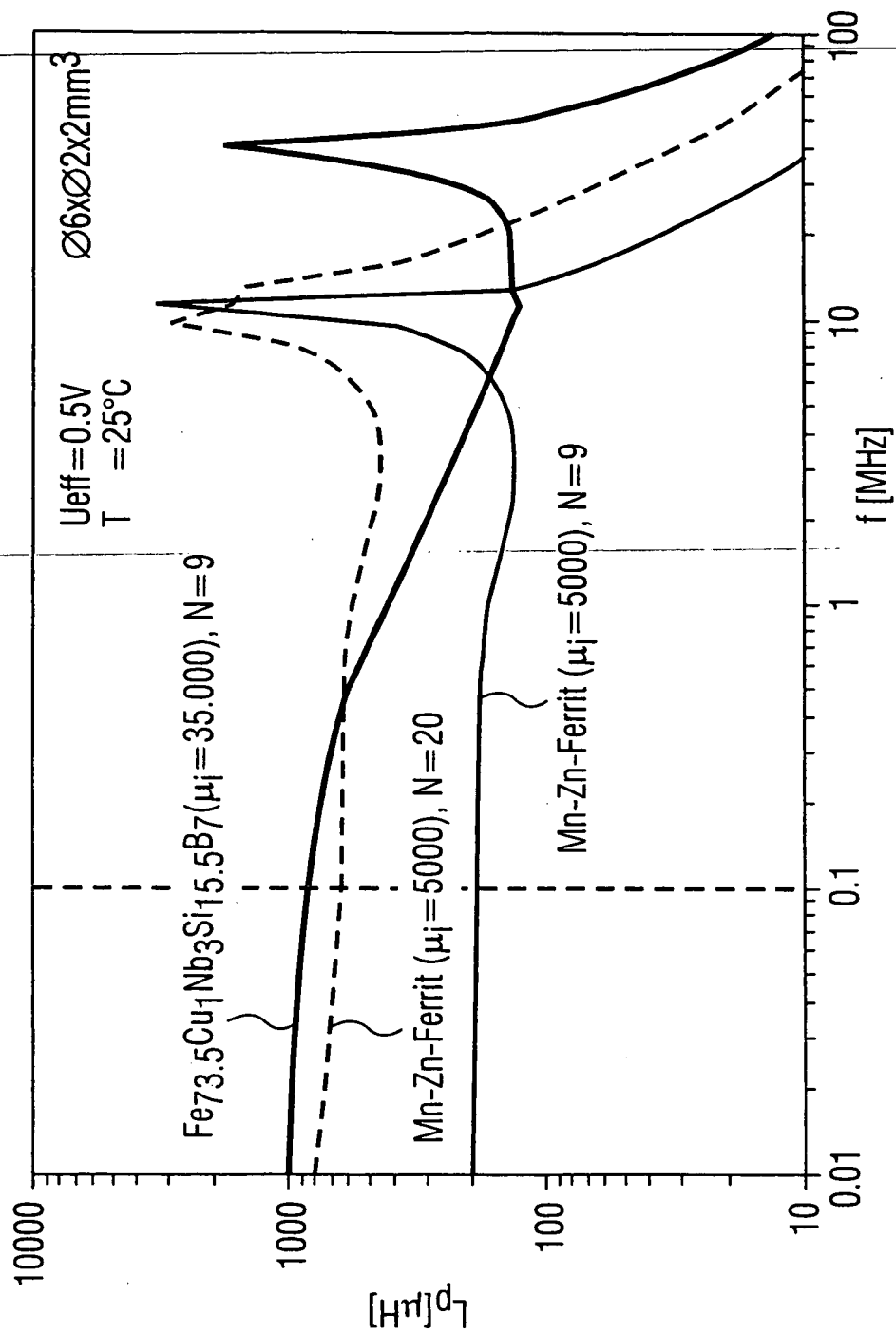


FIG 8

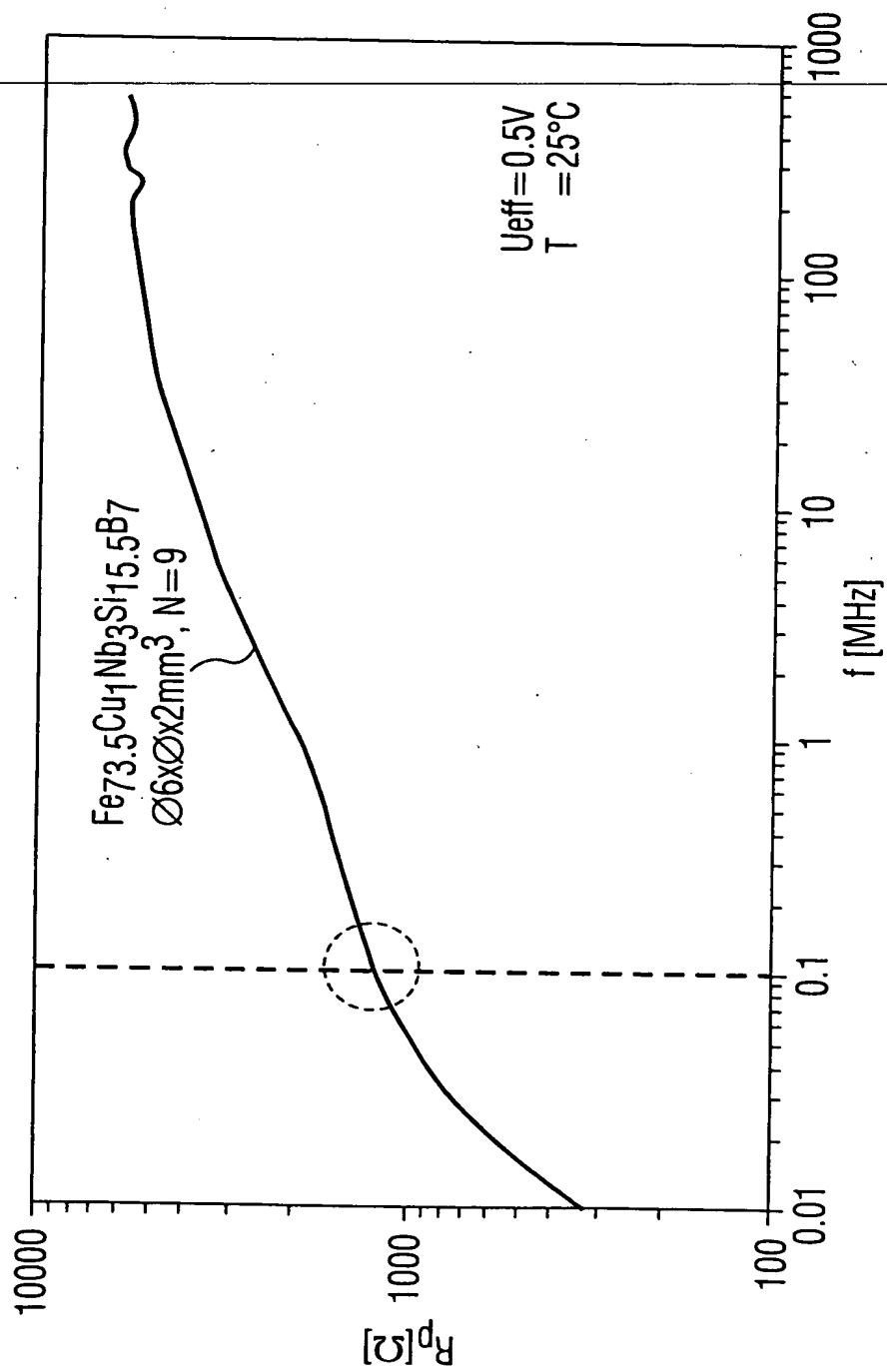


FIG 9

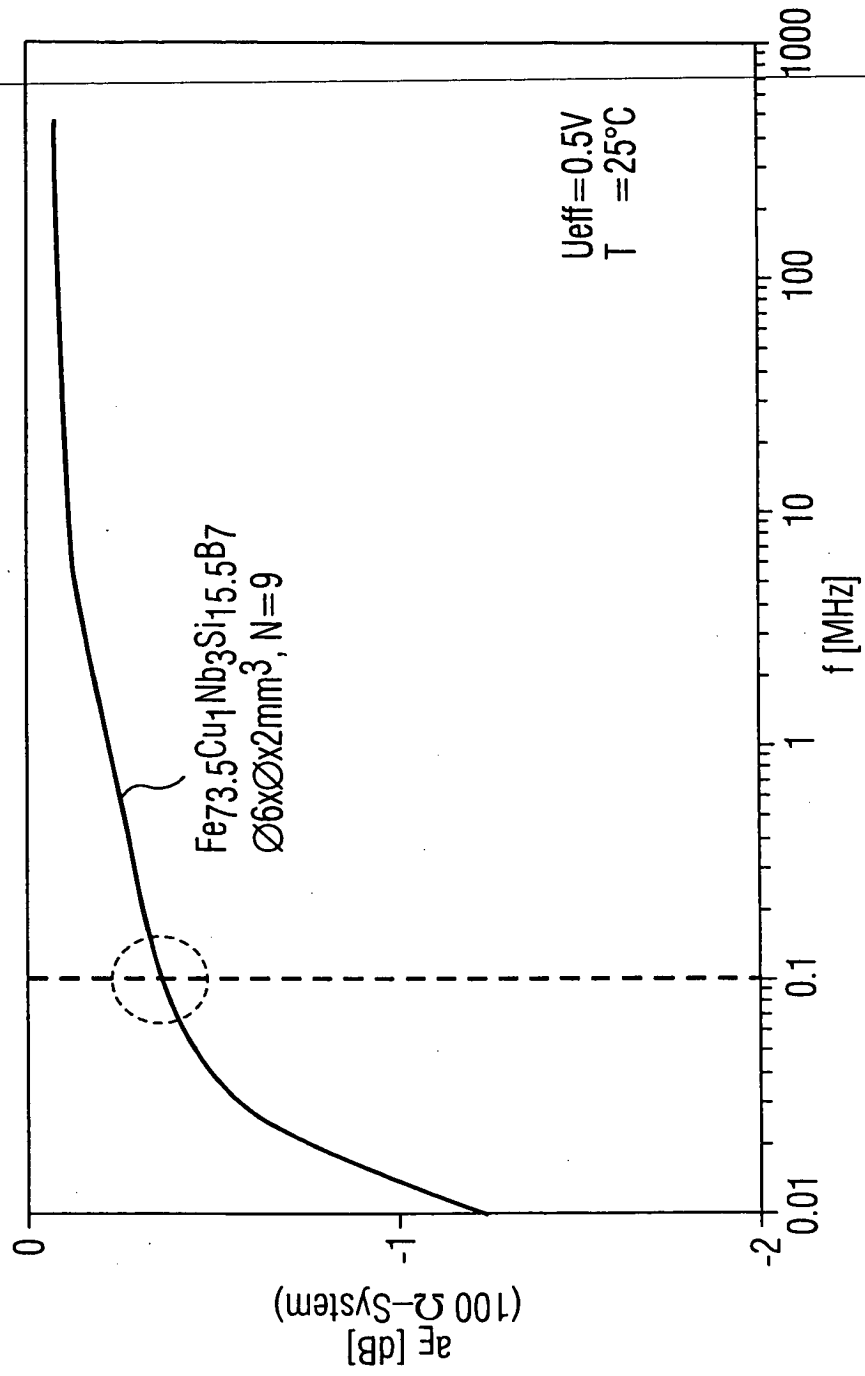
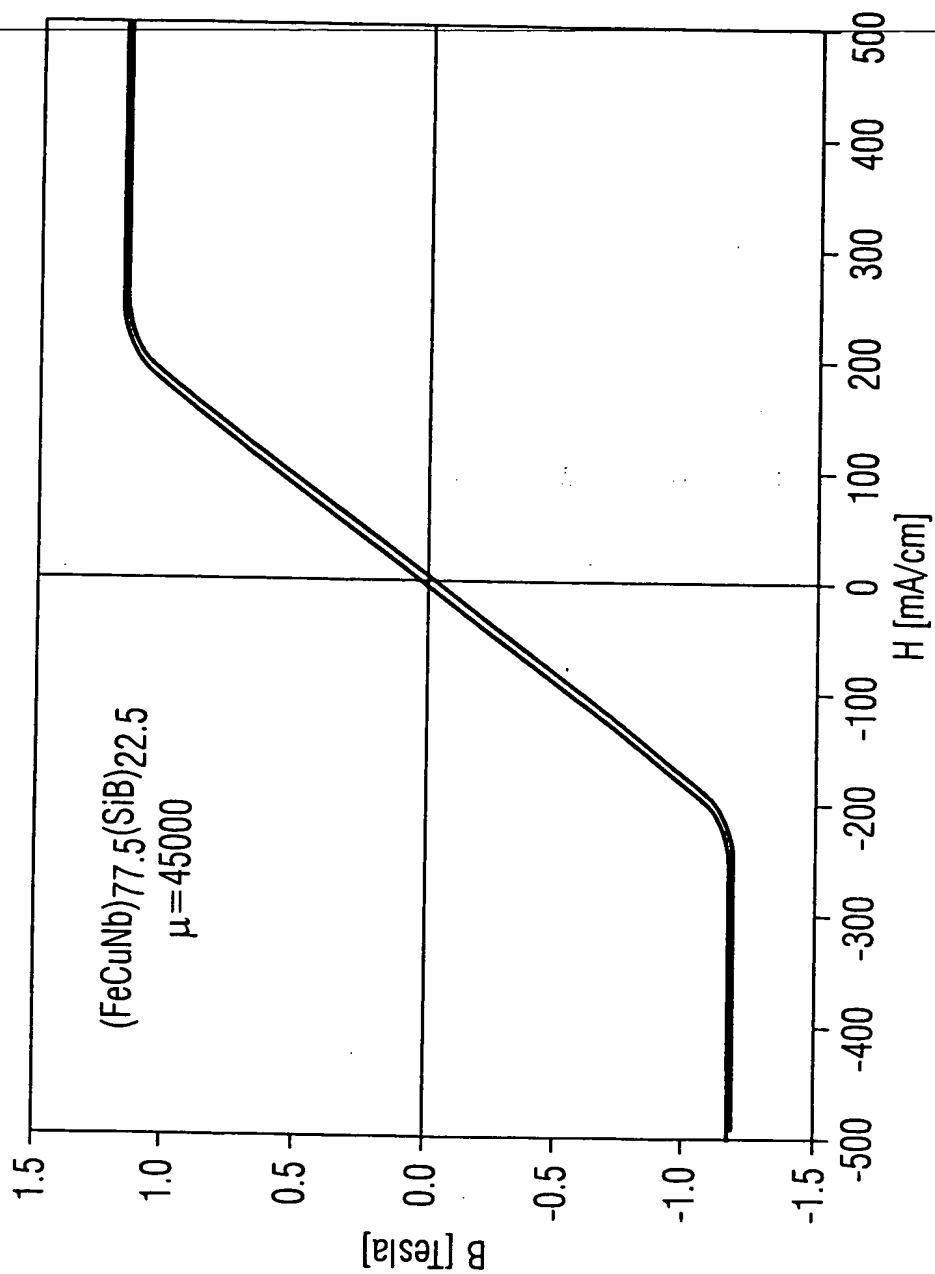


FIG 10



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**